

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN *MAGWIND*  
DENGAN VARIASI BENTUK SUDU**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1  
Program Studi Teknik Mesin**



**Oleh :**

**ALEXANDER KINAN PRADANGGA**

**NIM : 085214023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA**

**2013**

# **THE PERFORMANCE OF MAGWIND WINDMILLS WITH VARIATION OF BLADES**

## **FINAL PROJECT**

**Presented as partial fulfilment of the requirement  
to obtain the *Sarjana Teknik* degree  
in Mechanical Engineering**



by

**ALEXANDER KINAN PRADANGGA**

**Student Number : 085214023**

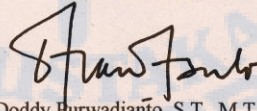
**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
SCIENCE AND TECHNOLOGY FACULTY  
SANATA DHARMA UNIVERSITY  
YOGYAKARTA  
2013**

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN *MAGWIND*  
DENGAN VARIASI BENTUK SUDU**

Disusun Oleh:

**ALEXANDER KINAN PRADANGGA**  
NIM : 085214023

Telah Disetujui Oleh:  
Dosen Pembimbing:



Doddy Hurwadiano, S.T., M.T.

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN *MAGWIND*  
DENGAN VARIASI BENTUK SUDU**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

**NAMA : ALEXANDER KINAN PRADANGGA**  
**N.I.M : 085214023**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal 29 November 2013

Susunan Dewan Penguji

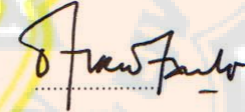
Nama Lengkap

Ketua : Budi Setyahandana, S.T. , M.T.

Sekretaris : Ir.Rines, M.T.

Anggota : Doddy Purwadianto, S.T. , M.T.

Tanda tangan



Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, 29 November 2013  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Sanata Dharma  
Yogyakarta

Dekan



Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc.

### PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam Tugas Akhir dengan judul :

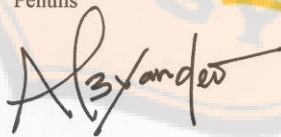
#### **UNJUK KERJA KINCIR ANGIN *MAGWIND* DENGAN VARIASI BENTUK SUDU**

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan yang wajib ditempuh untuk menjadi Sarjana Teknik pada Program Strata-1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Se jauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan di Universitas Sanata Dharma maupun di Perguruan Tinggi manapun. Kecuali bagian informasinya dicantumkan dalam daftar pustaka.

Dibuat di : Yogyakarta

Pada tanggal : 15 November 2013

Penulis



Alexander Kinan Pradangga



**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma :

Nama : Alexander Kinan Pradangga

Nomor Mahasiswa : 085214023

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah saya yang berjudul :

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN JENIS *MAGWIND* DENGAN VARIASI  
BENTUK SUDU**

Dengan demikian saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma hak untuk menyimpan, me-ngalihkan dalam bentuk media lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas, dan mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya maupun memberikan royalti kepada saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Yogyakarta

Pada tanggal : 15 November 2013

Yang menyatakan



( Alexander Kinan Pradangga )

## INTISARI

Dewasa ini ketersediaan energi fosil semakin berkurang, karena adanya eksploitasi secara besar-besaran, maka dikawatirkan 25 tahun lagi tidak ada energi fosil yang bisa dimanfaatkan oleh manusia. Perlu dikembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan sekaligus mudah dalam pemanfaatannya sehingga dapat menggantikan energi fosil yang semakin berkurang. Salah satu energi yang dapat dikembangkan adalah energi angin yang sangat melimpah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja kincir angin *Magwind* dengan jumlah sudu 3 yang telah termodifikasi.

Kincir angin yang diuji memiliki diameter 400 mm dan tinggi 500 mm dengan variasi bentuk sudu yang telah termodifikasi berlubang dan tidak berlubang. Pengujian dilakukan di dalam terowongan angin yang ada di Laboratorium Konversi Energi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Data yang diambil dalam pengujian kincir angin adalah kecepatan angin, kecepatan putar kincir dan beban pengereman.

Hasil penelitian berupa daya output ( $P_{out}$ ), koefisien daya (CP), dan perbandingan kecepatan ujung sudu dengan kecepatan angin (tip speed ratio/tsr). Daya yang dihasilkan oleh kincir angin *Magwind* dipengaruhi kecepatan angin dengan kecepatan 8,24m/s menghasilkan daya sebesar 3,54 watt dengan koefisien daya 7,68% pada TSR 0,72 .

**Kata Kunci :** Daya kincir, koefisien daya, *tip speed ratio*..

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat yang diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir ini merupakan sebagai salah satu syarat yang wajib untuk setiap mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. Tugas Akhir ini dilaksanakan dalam rangka memenuhi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Berkat bimbingan, dukungan dan nasihat dari berbagai pihak, akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini dengan segenap kerendahan hati penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Romo Dr.Ir. P. Wiryono Priyotamtama, S.J., selaku Rektor Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Ibu Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak Ir. Petrus Kanisius Purwadi, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
4. Bapak Doddy Purwadianto, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan Kepala Laboratorium Konversi Energi.
5. Bapak Intan Widnarko Dan Bapak Martana Dwiyaning Nugroho Sebagai laboran di Laboratorium Konversi Energi yang telah membantu penulis untuk pengambilan data Tugas Akhir ini.
6. Bapak R.B.Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Keluarga tercinta Papa Bs Djunaedi Irianto dan Mama V Kristiyanti P.R selaku orang tua penulis, Ditta dan Icat selaku adik kandung, karena kebaikan dan kerendahan hati memberikan semangat pada penulis. Keluarga penulis yang tidak

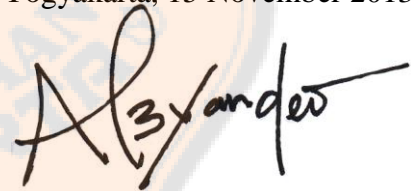


dapat disebutkan satu persatu yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

8. Mita Nur Aulia terima kasih atas dorongan, perhatian, dukungan dan supportnya yang tidak ada habis-habisnya
9. Sahabat-sahabat di Zianturi yang tidak dapat disebutkan satu per satu senantiasa membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma dan teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuannya.

Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Segala kritik dan saran yang membangun akan sangat penulis harapkan demi penyempurnaan dikemudian hari. Akhir kata seperti yang penulis harapkan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 15 November 2013



Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
TITLE PAGE .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
DAFTAR DEWAN PENGUJI .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	v
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
INTISARI .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Batasa Masalah .....	4
 BAB II DASAR TEORI .....	 5
2.1 Energi Angin .....	5
2.2 Kincir Angin .....	6
2.2.1 Kincir Angin Poros Horisontal .....	6
2.2.2 Kincir Angin Poros Vertikal .....	8
2.3 Gerakan Kincir .....	11
2.4 Perhitungan Pada Kincir.....	13
2.4.1. Energi Angin ( $P_{in}$ ).....	13
2.4.2. Daya Yang Dihasilkan Angin ( $P_{out}$ ).....	14
2.4.3. Torsi Kincir .....	14

2.4.4. Kecepatan Sudut Kincir .....	15
2.4.5. Tip Speed Ratio .....	15
2.4.6. Koefisien Daya (efisiensi) Kincir .....	16
 BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Diagtam Alir Penelitian .....	18
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	19
3.3 Peralatan Dan Bahan Penelitian .....	19
3.4 Variabel Penelitian .....	26
3.5 Langkah Percobaan .....	27
3.6 Langkah Pengolahan Data .....	28
 BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1 Data Hasil Percobaan .....	29
4.2 Pengolahan Data Dan Perhitungan .....	30
4.2.1 Perhitungan Daya Angin ( $P_{in}$ ) .....	31
4.2.2 Perhitungan Daya Kincir ( $P_{out}$ ) .....	32
4.2.3 Perhitungan Tip Speed Ratio .....	33
4.2.4 Perhitungan Koefisien Daya Kincir (CP) .....	33
4.3 Hasil Perhitungan .....	34
4.4 Grafik Hasil Perhitungan .....	41
4.5 Grafik dari Hasil Perhitungan 3 sudu.....	45
 BAB V PENUTUP .....	46
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran .....	47
 DAFTAR PUSTAKA .....	48

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kincir Angin Poros Horisontal .....	7
Gambar 2.2	Kincir Angin Poros Vertikal .....	8
Gambar 2.3	Gerakan Kincir .....	11
Gambar 2.4	Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya (CP) Dengan Tip Speed Ratio (TSR) Dari Beberapa jenis Kincir. ....	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Langkah-langkah Penelitian .....	17
Gambar 3.2	Konstruksi Kincir Angin .....	18
Gambar 3.3	Konstruksi Kincir Angin (Lanjutan) .....	19
Gambar 3.4	Sudu Kincir Keseluruhan .....	19
Gambar 3.5	Pembatas Sudu .....	20
Gambar 3.6	Penyangga Kincir .....	21
Gambar 3.7	Sistem Pembebanan .....	21
Gambar 3.8	Terowongan Angin atau Wind Tunnel .....	22
Gambar 3.9	Blower .....	23
Gambar 3.10	Tachometer .....	24
Gambar 3.11	Anemometer .....	24
Gambar 3.12	Neraca Pegas .....	25
Gambar 3.13	Tali pengait beban .....	26
Gambar 3.14	Penyangga anemometer .....	26
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir 3 sudu.....	34
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan kecepatan putar kincir 3 sudu.....	35
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio 3 sudu.....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Cadangan Energi Fosil .....	29
Tabel 4.1. Data Hasil Percobaan Sudu Berlubang .....	29
Tabel 4.2. Data Hasil Percobaan Sudu Tidak Berlubang.....	30
Tabel 4.3. Data hasil perhitungan untuk posisi 1 .....	34
Tabel 4.4. Data hasil perhitungan untuk posisi 2 .....	34
Tabel 4.5. Data hasil perhitungan untuk posisi 3 .....	35
Tabel 4.6. Data hasil perhitungan untuk posisi 4 .....	35
Tabel 4.7. Data hasil perhitungan untuk posisi 4 .....	36
Tabel 4.8. Data hasil perhitungan untuk posisi 4 .....	36
Tabel 4.9. Data hasil perhitungan untuk posisi 4 .....	37
Tabel 5.0. Data hasil perhitungan untuk posisi 4 .....	37

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan alam yang sangat melimpah, khususnya energi fosil yang ada di setiap pulau di Indonesia. Energi fosil ini perlu dijaga agar keberadaannya tetap terpelihara dengan baik. Kebutuhan energi di Indonesia dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi yang terus meningkat. Energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama, ketersediaannya mulai terbatas, karena selalu dieksploitasi secara besar-besaran. Sedangkan proses alam untuk menghasilkan energi fosil tersebut memerlukan waktu yang sangat lama dan rumit, sehingga perlu energi pengganti untuk mengurangi ketergantungan akan energi fosil.

Menurut *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun seperti pada Tabel 1.1.



**Tabel 1.1** Cadangan Energi Fosil

Jenis Energi Fosil	Cad/Prod	
	Indonesia	Dunia
Minyak	18 Tahun	40 Tahun
Gas	61 Tahun	60 Tahun
Batu bara	147 Tahun	200 Tahun

Sumber: DESDM (2005), WEC (2004)

Apabila mempertimbangkan laju pertumbuhan penduduk yang begitu tetap dan konsumsi energi yang terus meningkat, tentunya kurun waktu tersebut dapat diperkirakan akan jauh lebih cepat lagi. Upaya-upaya pencarian sumber energi alternatif selain fosil menyemangati para peneliti di berbagai negara untuk mencari energi lain yang kita kenal sekarang dengan istilah energi terbarukan. Salah satu energi yang dapat dipakai untuk dapat menggantikan energi fosil adalah energi angin. Indonesia yang merupakan negara kepulauan memiliki potensi yang tinggi dalam penggunaan energi angin. Pemanfaatan angin dapat menggunakan berbagai cara, salah satu cara pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan kincir angin. Kincir angin akan mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik yang kemudian dapat dikonversikan menjadi energi listrik.

Indonesia memiliki potensi angin yang cukup baik, karena sebagian pulau memiliki potensi angin yang bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin, tentunya dengan bantuan alat yang kita sebut dengan kincir angin. Kepulauan

yang memiliki potensi tersebut diantaranya kepulauan Sumbawa, Sumba, Lombok, dan Bali yaitu sebesar 4,5 sampai 5,8 m/s. ( Mulyani, 2008 ).

Kecepatan angin di Indonesia cukup variatif, maka pemilihan kincir angin yang sesuai dalam penelitian ini adalah Kincir Angin *Magwind*. kincir angin *Magwind* secara umum bergerak perlahan tetapi dapat menghasilkan torsi yang tinggi.

## 1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah :

- 1) Membuat dan menguji kincir angin model *Magwind* dengan 3 sudu yang telah termodifikasi.
- 2) Mengetahui unjuk kerja kincir angin *Magwind*.

## 1.3 Manfaat

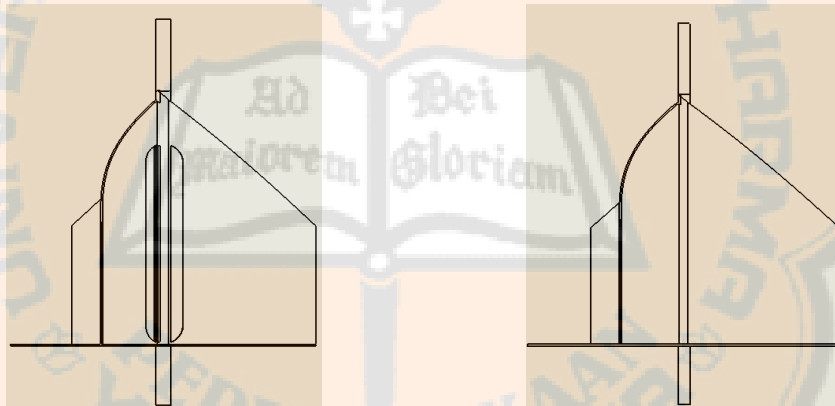
Manfaat yang didapatkan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Menjadi sumber informasi mengenai unjuk kerja kincir angin *Magwind*.
- 2) Memberi solusi lain dalam pemanfaatan energi angin yang ada di Indonesia.
- 3) Memberi manfaat bagi pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya energi angin.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

- 1) Jumlah sudu kincir angin magwind yang digunakan adalah 3 sudu.
- 2) Setiap sudu yang telah termodifikasi.
- 3) Tinggi kincir angin *Magwind* 50 cm dengan diameter 40cm.
- 4) Penelitian dilakukan pada sebuah terowongan angin yang ada di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.



Gambar 1.1 Perbedaan antara kincir yang bervariasi sudu dan tidak bervariasi

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Energi Angin**

Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan manusia. Perahu-perahu layar menggunakan energi ini untuk melewati perairan. Dan sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di setiap daerah kecepatan angin berbeda-beda. Dalam rangka mencari bentuk-bentuk sumber energi alternatif yang bersih dan terbarukan kembali energi angin mendapat perhatian yang besar.

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Pertukaran panas pada atmosfer akan terjadi secara konveksi. Berat jenis dan tekanan udara yang disinari cahaya matahari akan lebih kecil dibandingkan jika tidak disinari. Perbedaan berat jenis dan tekanan inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara. Pergerakan udara ini merupakan prinsip dari terjadinya angin. Karena bergerak, angin memiliki energi kinetik. Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

## 2.2 Kincir Angin

Kincir angin adalah sebuah alat yang digerakkan oleh tenaga angin sehingga menghasilkan energi mekanik atau gerak. Kincir angin dulunya banyak ditemukan di Belanda, Denmark, dan negara-negara eropa lainnya yang pada waktu itu banyak digunakan untuk irigasi, menumbuk hasil pertanian, dan penggilingan gandum. Istilah yang dipakai untuk menamai kincir pada waktu itu adalah *Windmill*.

Berdasarkan posisi poros kincir angin dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu kincir angin poros horizontal dan kincir angin poros vertikal. Dalam penelitian ini akan dikembangkan mengenai kincir angin poros vertikal.

### 2.2.1. Kincir Angin Poros Horisontal

Kincir Angin Poros Horisontal atau *Horizontal Axis Wind Turbin* (HAWT) adalah kincir angin yang memiliki poros utama sejajar dengan tanah dan arah poros utama sesuai dengan arah angin. Kincir ini terdiri dari sebuah menara dan kincir yang berada pada puncak menara tersebut. Poros kincir dapat berputar  $360^{\circ}$  terhadap sumbu vertikal untuk menyesuaikan arah angin.

## PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Beberapa jenis kincir angin poros horisontal diantaranya ditunjukkan pada Gambar 2.1.



a. Kincir angin American WindMill



b. Kincir angin Cretan SailWindmill



c. Kincir angin Dutch four arm



d. Kincir angin Rival calzoni

Gambar 2.1. Kincir Angin Poros Horisontal

(Sumber : [www.fineartamerica.com](http://www.fineartamerica.com), )



Pada kincir angin poros horisontal memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah :

1. Mampu mengkonversi energi angin pada kecepatan tinggi.
2. Banyak digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan skala besar.
3. Material yang digunakan lebih sedikit.
4. Memiliki faktor keamanan yang lebih baik karena posisi sudu yang berada diatas menara.

Adapun kelemahan yang dimiliki oleh kincir angin poros horisontal adalah :

1. Kontruksi yang tinggi dapat menyulitkan dalam pemasangan kincir.
2. Dapat mempengaruhi radar di bandara.
3. Perlu adanya mekanisme tambahan untuk menyesuaikan dengan arah angin.
4. Biaya pemasangan yang sangat mahal.

### **2.2.2. Kincir Angin Poros Vertikal**

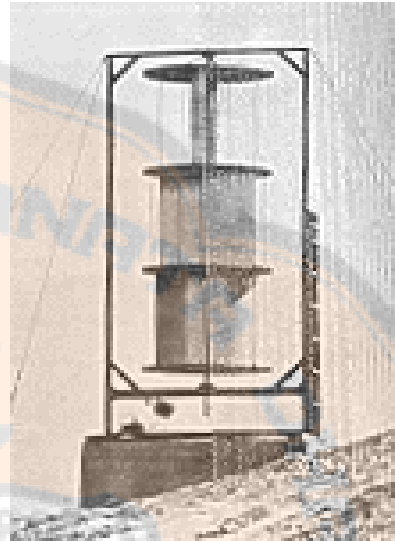
Kincir angin poros vertikal atau Vertical Axis Wind Turbin (VAWT) adalah salah satu jenis kincir angin yang posisi porosnya tegak lurus dengan arah angin atau dengan kata lain kincir jenis ini dapat mengkonversi tenaga angin dari segala arah kecuali arah angin dari atas atau bawah.

Beberapa jenis kincir angin poros vertikal diantaranya seperti terlihat pada

Gambar 2.2. berikut :



a. Darrieus



b. Savonius

Gambar 2.2. Kincir Angin Poros Vertikal

(Sumber : [http://wikipedia.org/Kincir\\_angin.](http://wikipedia.org/Kincir_angin.))

Kelebihan kincir angin poros vertikal adalah :

1. Dapat menerima arah angin dari segala arah.
2. Memiliki torsi yang besar pada putaran rendah.
3. Dapat bekerja pada putaran rendah.
4. Tidak membutuhkan konstruksi menara yang besar.
5. Biaya pemasangan lebih murah.

Sedangkan kelemahan dari kincir angin poros vertikal adalah sebagai berikut:

1. Karena mempunyai torsi awal yang rendah, sehingga membutuhkan energi angin untuk mulai berputar.
2. Pada umumnya kincir angin poros vertical hanya mampu menghasilkan energi 50% dibanding kincir angin poros horisontal karena adanya gaya drag tambahan.
3. Dari konstruksinya berat poros dan sudu yang bertumpu pada bantalan merupakan beban tambahan.
4. Penempatan yang berada di ketinggian yang rendah maka tingkat keamanannya rendah karena membahayakan keselamatan lingkungan di sekitarnya.

### 2.3 Kincir angin *Magwind*

Kincir angin *Magwind* merupakan salah satu jenis kincir angin poros vertikal yang pada umumnya mempunyai 3 sudu, 4 sudu, ataupun banyak sudu. Kincir jenis ini memiliki torsi yang besar pada putaran rendah, Kincir angin ini mempunyai beberapa kelebihan.

Kelebihan kincir angin *Magwind* :

- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
- Biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung blade dengan laju angin yang sebenarnya ) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- Tidak diubah posisinya jika arah angin berubah.

- Posisi penempatan di letakan diatas rumah karena bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin.



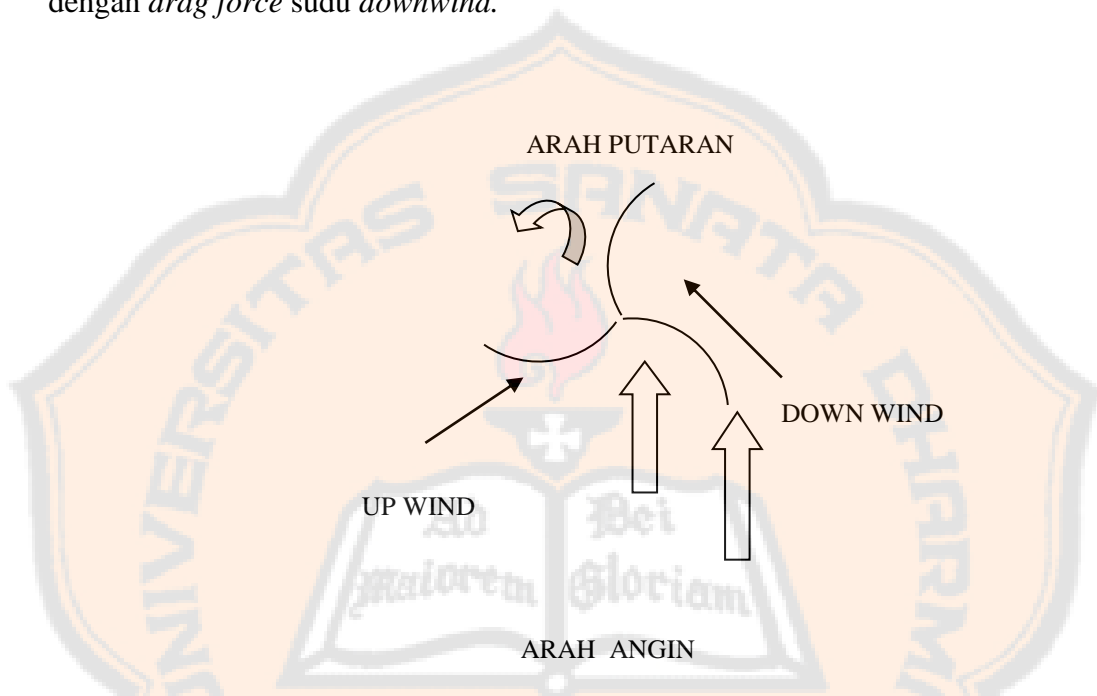
Gambar 2.3. penempatan kincir angin *Magwind*

### 2.3 Gerakan Kincir

Pada dasarnya rotor Kincir Angin mengambil tenaga dari angin dan membuatnya menjadi lebih pelan, dan menghasilkan tenaga. Ini dapat dilihat dengan adanya gaya yang diterapkan yaitu gaya yang diberikan oleh angin kepada kincir. Obyek yang bergerak searah aliran angin, menghasilkan gaya yang disebut “*Drag*” atau Gaya Seret.

Prinsip kerja Kincir Angin *Magwind* adalah mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong (*drag force*). Sebagian sudu mengambil energi angin dan sebagian sudu lagi melawan angin. Sudu yang mengambil energi angin disebut *downwind* sedangkan sudu yang melawan angin

disebut *upwind*. Sudu *upwind* ini dapat mengurangi kecepatan rotor. Besarnya torsi pada rotor dan kecepatan rotor (rpm) tergantung pada selisih *drag force* sudu *upwind* dengan *drag force* sudu *downwind*.



Gambar 2.3. Arah putaran angin

Jika dikaitkan dengan sumber daya angin, kincir angin dengan jumlah sudu banyak lebih cocok digunakan pada daerah dengan potensi energi angin yang rendah karena *rated wind speed*-nya tercapai pada putaran rotor dan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi. Sedangkan kincir angin dengan sudu sedikit (untuk pembangkitan listrik) tidak akan beroperasi secara efisien pada daerah dengan kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s.

## 2.5 Perhitungan Pada Kincir

### 2.5.1 Energi Angin ( $P_{in}$ )

Energi angin adalah energi yang dimiliki oleh angin karena kecepatannya, sehingga merupakan suatu bentuk energi kinetik. Energi kinetik tersebut dapat disusun dalam, Persamaan 1.

$$\text{Energi kinetik } (E_K) = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

$E_K$  : Energi kinetik, (Joule)

$m$  : Massa, (Kg)

$v$  : Kecepatan angin, (m/s)

Dari persamaan 1, dapat ditentukan bahwa daya merupakan energi persatuan waktu (J/s), sehingga persamaan tersebut dapat ditulis menjadi :

$$P_{in} = 0,5 \cdot \dot{m} \cdot v^3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

$P_{in}$  : Daya yang tersedia pada angin, (watt)

$\dot{m}$  : Massa udara yang mengalir per satuan waktu, (Kg/s)

Massa udara ( $\rho$ ) yang mengalir per satuan waktu dituliskan dalam Persamaan 3.

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

$\rho$  : Massa jenis udara, (Kg/m<sup>3</sup>)

$A$  : Luasan penampang kincir, (m<sup>2</sup>)



Persamaan 2 disubstitusikan ke persamaan 3, maka dapat diperoleh daya yang tersedia pada angin :

$$P_{in} = 0,5 \cdot (\rho \cdot A \cdot v) \cdot v^2$$

Yang dapat disederhanakan menjadi :

$$P_{in} = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (4)$$

Massa jenis udara dalam penggunaannya dapat disederhanakan dengan mengansumsikan  $(\rho) = 1,2 \text{ kg/m}^3$ , maka diperoleh Persamaan daya angin :

$$P_{in} = 0,6 \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (5)$$

### 2.5.2 Daya Yang dihasilkan Kincir ( $P_{out}$ )

Daya yang dihasilkan kincir ( $P_{out}$ ) adalah daya yang dihasilkan kincir akibat adanya angin yang melintasi sudu kincir. Sehingga daya kincir yang dihasilkan oleh gerakan melingkar kincir dapat dirumuskan :

$$P_{out} = T \cdot \omega \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

$P_{out}$  : Daya yang dihasilkan, (watt)

$T$  : Torsi, (N.m)

$\omega$  : Kecepatan sudut, (rad/sec)

### 2.5.3 Torsi Kincir

Gaya yang bekerja pada poros dihasilkan oleh gaya dorong pada sudu kincir yang dikurangi dengan gaya hambat (gaya yang berlawanan arah). Gaya dorong ini memiliki jarak terhadap sumbu poros kincir yang berputar. Torsi ( $T$ ) merupakan hasil kali dari gaya ( $F$ ) dengan panjang lengan torsi ( $r$ ).

Perhitungan torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$T = F \cdot l \quad \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

$F$  : Gaya pembebanan, (N)

$l$  : Panjang lengan torsi, (m)

#### 2.5.4. Kecepatan Sudut Kincir

Kecepatan sudut dapat dikatakan juga sebagai perubahan sudut persatuan waktu dalam gerak melingkar, untuk mengkonversikanya perlu diingat bahwa 1 rpm =  $2\pi/60$  rad/sec. Kecepatan sudut dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot n \quad \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

$n$  : Kecepatan putar kincir, (rpm)

#### 2.5.5 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudu dengan kecepatan angin. *TSR* dapat dirumuskan :

$$TSR = \frac{2\pi \cdot r \cdot n}{60 \cdot v} \quad \dots\dots\dots (9)$$

dengan :

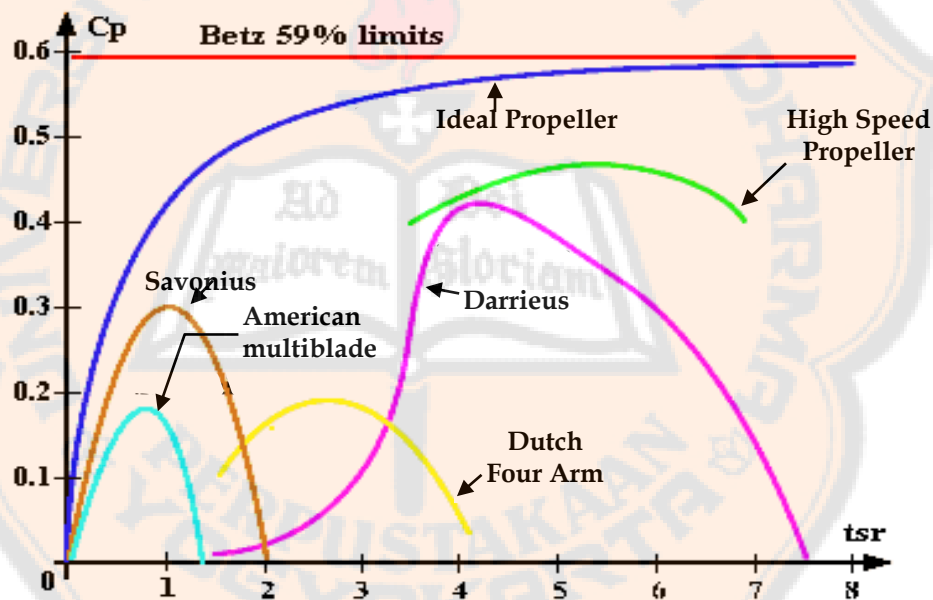
$r$  :Jari-jari kincir, (m)

$n$  : Kecepatan putar kincir, (rpm)

$v$  : Kecepatan angin, (m/s)

#### 2.4.6. Koefisien Daya (Efisiensi) Kincir

Penelitian yang dilakukan oleh seorang ilmuwan jerman yang bernama Albert Bezt yang telah menemukan efisiensi maksimum pada kincir angin, yaitu 59,3 % ( Johnson, 2006 ). Gambar 2.5 menyajikan koefisien daya dari beberapa kincir, dengan koefisien daya maksimal sebesar 59,3 % yang disebut sebagai Bezt Limit.



Gambar 2.5. Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya (CP) Dengan Tip Speed Ratio (TSR) Dari Beberapa jenis Kincir.

(Sumber : [www.windturbine-analysis.com/index-intro.htm](http://www.windturbine-analysis.com/index-intro.htm))

Koefisien daya (*Power Coefficient/CP*) adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh kincir ( $P_{out}$ ) dengan daya yang tersedia ( $P_{in}$ ). Koefisien daya ditimbulkan dalam persamaan 9.

$$CP = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \dots\dots\dots (9)$$

dengan :

$P_{out}$  : Daya yang dihasilkan kincir, (watt)

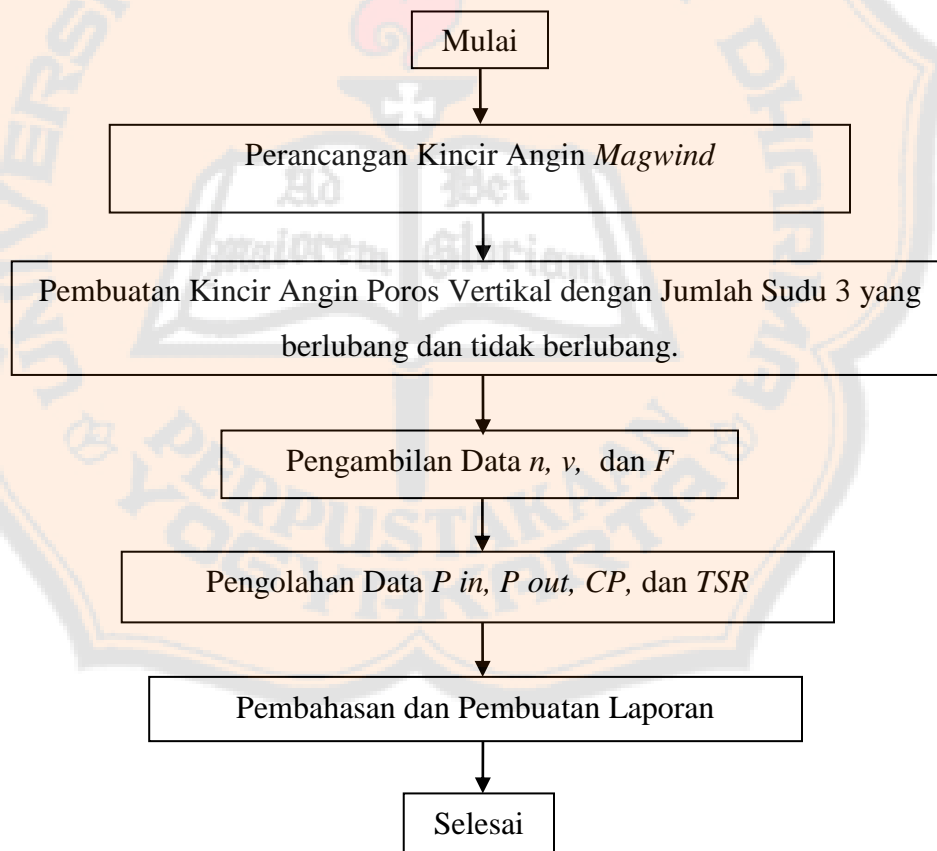
$P_{in}$  : Daya yang tersedia, (watt)

### BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 . Diagram Alir Penelitian

Langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Langkah-langkah Penelitian

### 3.2. Waktu Dan Tempat Penelitian

Proses pembuatan kincir, pengambilan data, dan penelitian dimulai pada semester genap tahun ajaran 2012/2013 di laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta

### 3.3. Peralatan dan Bahan Penelitian

Model kincir angin *Magwind* beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 3.2. dan Gambar 3.3.



Sudu kincir

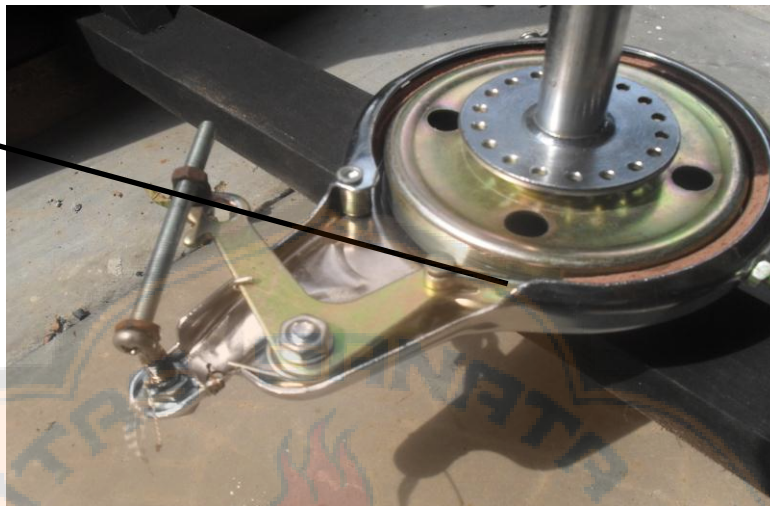
Pembatas sudu

Penyangga kincir

Gambar 3.2. Kontruksi Kincir Angin



Sistem  
pembebanan

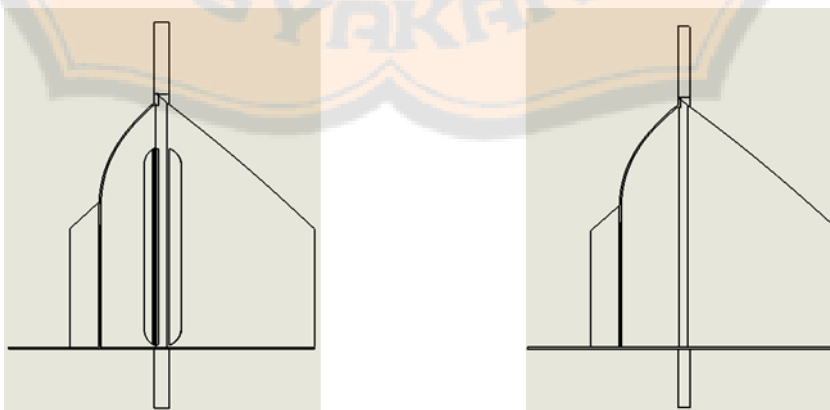


Gambar 3.3 Konstruksi Kincir Angin (Lanjutan)

Kincir angin plat datar pada konstruksi diatas memiliki beberapa bagian penting, yaitu :

#### 1. Sudu

Sudu kincir untuk kincir angin *Magwind* terbuat dari plat galvanis dengan tebal 2 mm yang digunakan untuk menangkap angin yang melintasi kincir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Sudu Kincir Keseluruhan.

## 2. Pembatas sudu

Berfungsi sebagaiudukan sudu dan pengikat sudu untuk membentuk sudu menjadi lengkungan. Terbuat dari plat galvanis berdiameter 40 cm dengan tebal 0,1 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Pembatas sudu

## 3. Penyangga Kincir

Penyangga kincir terbuat dari balok kayu dengan ukuran 3cm x 3cm x 100cm. Bagian ini berfungsi untuk menopang sistem pembebanan beserta kincirnya. proses pembuatan dengan cara dipaku untuk menguatkan sambungan antar balok kayu, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



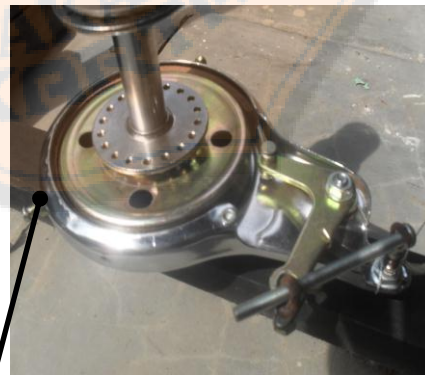
Gambar 3.6. Penyangga Kincir

#### 4. Sistem Pembebanan

Sistem pembebanan yang dipakai adalah sistem pengereman pada sepeda tromol. Sistem ini menggunakan kampas rem yang berbentuk lingkaran dan terpasang didalam rumah tromolnya. Sistem ini dapat disetting dengan menggunakan sepasang baut yang berfungsi untuk mengatur kerapatan kampas rem dengan poros tromol. Sedangkan untuk pembebanan digunakan baut dengan panjang 2,5 cm untuk memvariasikan beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Baut pembebanan



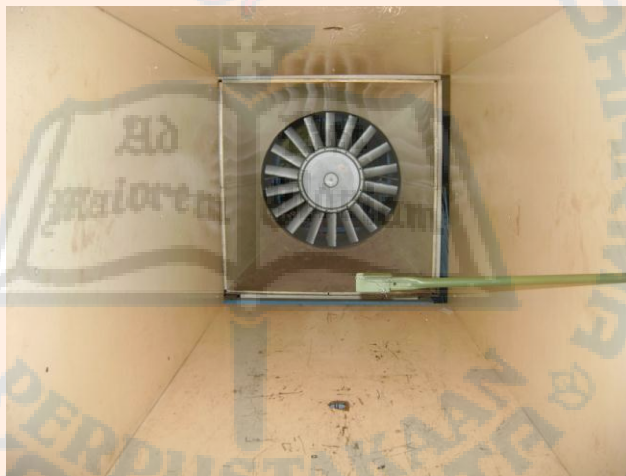
Baut Adjuster

Gambar 3.7. sistem pembebanan

Dalam pengambilan data digunakan beberapa peralatan penunjang, diantaranya :

### 1. Terowongan Angin

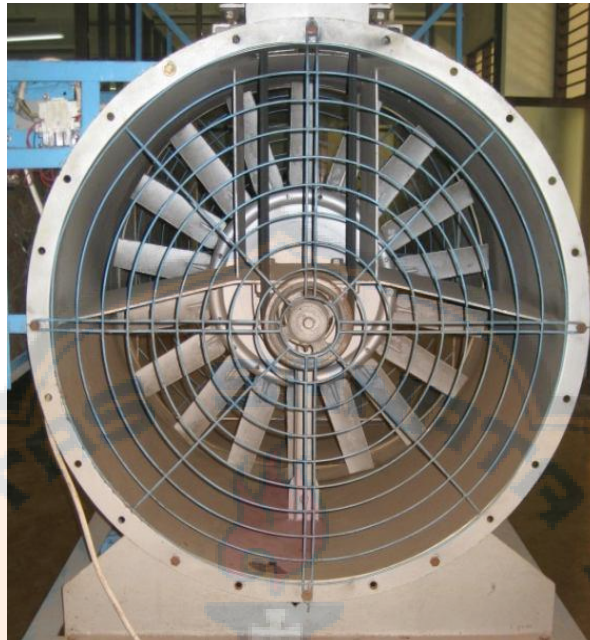
Terowongan angin atau *wind tunnel* adalah sebuah lorong berukuran  $1,2\text{m} \times 1,2\text{m} \times 2,4\text{m}$  yang berfungsi sebagai tempat dimana angin bergerak dengan kecepatan tertentu sekaligus merupakan tempat pengujian kincir angin, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8. Di dalam lorong udara tekanannya dibuat lebih rendah dari tekanan lingkungan sekitar, tujuannya agar udara bergerak dengan kecepatan tertentu. Kecepatan angin dapat diatur dengan cara mengatur jarak antara *wind tunnel* dan blower sesuai keinginan.



Gambar 3.8. Terowongan Angin atau Wind Tunel

### 2. Blower

Blower adalah alat yang digunakan untuk menurunkan tekanan di dalam terowongan angin sehingga angin dapat berhembus dengan kecepatan tertentu. Blower digerakkan oleh motor listrik berdaya 5,5 kW, sebagai transmisinya menggunakan sabuk dan puli, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Blower

### 3. Tachometer

Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur putaran poros kincir angin sebagai data yang dibutuhkan. Jenis tachometer yang digunakan adalah *digital light tachometer*, prinsip kerjanya berdasarkan pantulan yang diterima sensor dari reflektor, reflektor ini berupa aluminium foil atau benda warna yang dapat memantulkan cahaya dan dipasang pada poros, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10.





Gambar 3.10. Tachometer

#### 4. Anemometer

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin sesuai dengan data yang dibutuhkan. Anemometer diletakkan didepan terowongan angin. Alat ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu sensor elektrik yang diletakkan di depan terowongan angin dan modul digital yang menerjemahkan data dari sensor kemudian ditampilkan pada layar digital, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Anemometer

## 5. Neraca Pegas

Neraca pegas digunakan untuk mengukur gaya pengimbang torsi kincir angin saat kincir berputar. Neraca pegas dihubungkan pada lengan ayun dengan panjang lengan yang telah ditentukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Neraca Pegas

### 3.4. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah :

1. Variasi pembebanan yaitu dari posisi kincir diam sampai kincir berputar maksimal.
2. Variasi kecepatan angin dilakukan dengan 4 variasi.

Variabel yang diambil adalah :

1. Kecepatan Angin, (m/s)
2. Gaya Pengimbang, (N)
3. Putaran Kincir, (n)

### 3.5. Langkah Percobaan

Pengambilan data kecepatan angin, beban, dan kecepatan putar kincir dilakukan secara bersama-sama. Hal pertama yang dilakukan adalah memasang kincir angin pada terowongan angin. Selanjutnya untuk pengambilan data memerlukan proses sebagai berikut :

1. Memasang neraca pegas serta pengaitnya pada tempat yang sudah ditentukan.
2. Memasang tali pengait pada neraca pegas yang dihubungkan dengan sistem pembebanan, seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Tali pengait beban

3. Memasang anemometer pada bagian depan terowongan angin, seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Penyangga anemometer



4. Menempatkan tachometer pada tempatnya.
5. Blower siap untuk dihidupkan.
6. Pengaturan kecepatan angin dilakukan dengan cara menggeser blower dengan troli yang sudah diberi tanda sehingga jarak celah antara blower dengan terowongan angin dapat disesuaikan.
7. Setelah mendapat kecepatan angin yang konstan pengambilan data dapat dimulai dari pembacaan kecepatan putar kincir, besar torsi, dan kecepatan angin.
8. Ulangi langkah 4 sampai 9 sampai variasi kecepatan angin ke empat.

### 3.6. Langkah Pengolahan Data

Dari data yang telah didapat, maka data tersebut dapat diolah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Dari data kecepatan angin ( $v$ ) dan dengan diketahui luasan frontal kincir ( $A$ ), maka daya angin ( $P_{in}$ ) dapat dicari dengan Persamaan 2.
2. Data beban pegas ( $F$ ) dapat digunakan untuk mencari torsi ( $T$ ) dengan Persamaan 7.
3. Data putaran poros ( $n$ ) dan torsi ( $T$ ) dapat digunakan untuk mencari daya yang dihasilkan kincir ( $P_{out}$ ) dengan Persamaan 6.
4. Dengan membandingkan kecepatan keliling diujung sudu dan kecepatan angin, maka *tip speed ratio* dapat dicari dengan Persamaan 8.
5. Dari data daya kincir ( $P_{out}$ ) dan daya angin ( $P_{in}$ ) maka koefisien daya dapat diketahui dengan Persamaan 9.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Percobaan

Data hasil percobaan ditampilkan pada Tabel 4.1 untuk 3 sudu.

➤ Tabel 4.1. Data percobaan kincir 3 sudu berlubang.

No.	Posisi	v (m/s)	n (rpm)	F (N)
1	1	8,91	341,1	0,00
2		8,79	320,3	0,15
3		8,71	308,2	0,20
4		8,77	305,6	0,40
5		8,71	279	0,60
6		8,91	263,7	0,90
7		8,89	260,3	1,10
8		8,85	247,2	1,50
9		8,71	0	2
10	2	8,38	279	0,00
11		8,38	260,9	0,05
12		8,27	257,2	0,15
13		8,14	231,9	0,25
14		8,32	215,7	0,30
15		8,06	209,5	0,50
16		8,29	149	0,85
17		8,32	138,6	1,30
18		8,37	0	1,50
19	3	7,50	229,6	0
20		7,53	217,3	0,05
21		7,47	202,1	0,20
22		7,44	191,4	0,30
23		7,60	187,7	0,50
24		7,49	178,7	0,60
25		7,51	167,7	0,90
26		7,46	159,8	1
27		7,40	0	1,30
28	4	7,51	187,8	0,00
29		7,46	183,6	0,05
30		7,39	179,1	0,10
31		7,52	167,7	0,25
32		7,53	159,8	0,35
33		7,49	153,1	0,40
34		7,51	146,4	0,65
35		7,51	128,4	0,80
36		7,47	0	1,10

➤ Tabel 4.2. Data percobaan kincir 3 sudu tidak berlubang

No.	Posisi	v (m/s)	n (rpm)	F (N)
1	1	9,04	378,5	0,00
2		9,05	374,3	0,20
3		9,11	370,2	0,40
4		9,06	367,5	0,50
5		9,05	357,7	0,60
6		9,06	326,2	1,00
7		9,04	286,4	1,50
8		8,95	245,2	1,80
9		8,96	0	2,20
10	2	8,68	355,2	0
11		8,58	342,4	0,2
12		8,54	324,3	0,40
13		8,61	313,7	0,60
14		8,43	302,4	0,80
15		8,58	292,7	1,00
16		8,61	285,1	1,20
17		8,21	242,5	1,40
18		8,04	0	1,80
19	3	7,17	276,3	0,00
20		7,15	264,3	0,20
21		7,21	246,4	0,30
22		7,15	226,1	0,40
23		7,16	204,7	0,80
24		7,22	195,8	1,00
25		7,15	187,4	1,20
26		7,19	162,5	1,40
27		7,16	0	1,65
28	4	6,73	248,4	0,00
29		6,55	227,8	0,20
30		6,65	204,6	0,30
31		6,55	191,4	0,40
32		6,54	183,6	0,60
33		6,51	174,4	0,80
34		6,51	163,6	1,00
35		6,48	154,2	1,10
36		6,42	0	1,40

Data dari hasil percobaan dengan 3 sudu berlubang terhadap arah angin dengan Jarak lengan poros 110 mm dan diameter kincir 400mm . Dalam setiap variasi, percobaan dilakukan sebanyak empat kali variasi posisi. Posisi pertama dengan tidak memberi celah pada blower dan terowongan, kedua dengan memberi celah kira-kira 3 cm antara blower dan terowongan dan untuk setiap posisi diberi penambahan jarak 3 cm sampai posisi ke empat Setiap posisi dianggap selesai bila neraca pegas tidak menunjukkan perubahan beban atau pada posisi 0 N.

#### **4.2. Pengolahan Data Dan Perhitungan**

Contoh perhitungan untuk kincir angin bersudu 3 pada Tabel 4.1. pada baris pertama dengan kondisi kincir bergerak dan jarak antara blower dengan terowongan pada posisi 1 (rapat). Perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui besarnya daya angin ( $P_{in}$ ), daya kincir ( $P_{out}$ ), Tip Speed Ratio (TSR) dan koefisien daya kincir (CP).

##### **4.2.1 Perhitungan Daya Angin ( $P_{in}$ )**

Besar daya yang tersedia pada angin pada kincir angin dengan luasan frontal  $A=0,142 \text{ m}^2$  dan kecepatan angin 8,38 m/s, maka daya angin dapat dicari dengan menggunakan persamaan 5 :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 0,6 \cdot A \cdot v^3 \\ &= 0,6 \cdot 0,142 \text{ m}^2 \cdot (8,38 \text{ m/s})^3 \\ &= 50,05 \text{ watt} \end{aligned}$$

Jadi daya yang tersedia pada angin adalah 50,05 watt

#### 4.2.2 Perhitungan Daya Kincir ( $P_{out}$ )

Untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh kincir, dapat menggunakan persamaan 6, namun untuk mendapatkan daya kincir sebelumnya harus mengetahui kecepatan sudut dan torsi kincir, maka untuk itu perlu dicari terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 8 dan 7:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi}{60} \cdot n \\ &= \frac{2\pi}{60} \cdot 380 \text{ rpm} \\ &= 39,98 \text{ rad/sec}\end{aligned}$$

Maka kecepatan sudut yang didapatkan adalah 39,98 rad/sec

Untuk mencari besar torsi yang terjadi pada kincir, maka dapat menggunakan persamaan 7. Sehingga torsi yang didapat adalah :

$$\begin{aligned}T &= F \cdot r \\ &= 0 \text{ N} \cdot 0,11 \text{ m} \\ &= 0 \text{ N.m}\end{aligned}$$

Sehingga torsi yang didapatkan adalah 0 N.m

Dengan kecepatan sudut 39,98 rad/sec dan torsi 0 N.m, maka daya yang dihasilkan oleh kincir adalah :

$$\begin{aligned}P_{out} &= T \cdot \omega \\ &= 0 \text{ N.m} \cdot 39,98 \text{ rad/sec}\end{aligned}$$

$$= 0 \text{ watt}$$

Sehingga daya yang dihasilkan oleh kincir adalah 0 watt.

#### 4.2.3 Perhitungan Tip Speed Ratio (TSR)

Dengan mengetahui kecepatan putar kincir 380 rpm dan kecepatan angin 8,38 m/s, maka TSR dapat dicari dengan menggunakan persamaan 9 :

$$\begin{aligned} TSR &= \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n}{60 \cdot v} \\ &= \frac{2 \cdot 0,2n \cdot 380 \text{ rpm}}{60 \cdot 8,38 \text{ m/s}} \\ &= 0,95 \end{aligned}$$

Sehingga TSR yang didapatkan adalah 0,95

#### 4.2.4 Perhitungan Koefisien Daya Kincir (CP)

Dengan mengetahui daya yang dihasilkan oleh angin 50,05 watt dan daya yang dihasilkan oleh kincir 0 watt, maka koefisien daya kincir dapat dicari dengan menggunakan persamaan 10 :

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \\ &= \frac{0 \text{ watt}}{50,05 \text{ watt}} \cdot 100\% \\ &= 0 \% \end{aligned}$$

Maka CP yang dihasilkan adalah 0 %

### 4.3 Hasil Perhitungan

Dari percobaan yang telah dilakukan dengan mengatur kelonggaran blower dan terowongan, maka data yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Data hasil perhitungan untuk sudu kincir berlubang posisi 1

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P <sub>in</sub> (watt)	P <sub>out</sub> (watt)	TSR	CP (%)
1	8.38	341,1	0.00	0.00	39.98	50.05	0.00	0.95	0.00
2	8.14	320,3	0.15	0.02	39.27	45.95	0.65	0.96	1.41
3	8.27	308,2	0.20	0.02	39.13	48.10	0.86	0.95	1.79
4	8.12	288,2	0.40	0.04	36.86	45.53	1.62	0.91	3.56
5	8.21	268,4	0.60	0.07	34.28	47.06	2.26	0.84	4.81
6	8.21	240,7	0.90	0.10	32.93	47.15	3.26	0.80	6.91
7	8.15	228,6	1.10	0.12	29.20	46.04	3.53	0.72	7.68
8	8.18	247,2	1.30	0.14	24.77	46.63	3.54	0.61	7.60
9	8.56	0	1.50	0.17	0.00	53.35	0.00	0.00	0.00

Tabel 4.3. Data hasil perhitungan untuk posisi 2.

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P <sub>in</sub> (watt)	P <sub>out</sub> (watt)	TSR	CP (%)
1	7.93	279	0.00	0.00	38.73	42.49	0.00	0.98	0.00
2	7.93	260,9	0.05	0.01	37.92	42.41	0.21	0.96	0.49
3	7.90	257,2	0.10	0.01	37.83	42.01	0.42	0.96	0.99
4	7.92	231,9	0.15	0.02	37.64	42.33	0.62	0.95	1.47
5	8.07	215,7	0.20	0.02	36.98	44.69	0.81	0.92	1.82
6	8.05	209,5	0.35	0.04	35.29	44.36	1.36	0.88	3.06
7	7.89	151,4	0.80	0.09	29.21	41.77	2.57	0.74	6.15
8	8.03	138,6	0.90	0.10	28.80	44.11	2.85	0.72	6.46
9	8.16	0	1.40	0.15	0.00	46.21	0.00	0.00	0.00

Tabel 4.4. Data hasil perhitungan untuk posisi 3.

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P in (watt)	P out (watt)	TSR	CP (%)
1	7.34	229,6	0.00	0.00	34.13	33.62	0.00	0.93	0.00
2	7.35	217,3	0.10	0.01	34.07	33.83	0.37	0.93	1.11
3	7.31	202,1	0.20	0.02	33.40	33.28	0.73	0.91	2.21
4	7.21	191,4	0.30	0.03	32.56	31.87	1.07	0.90	3.37
5	7.51	187,7	0.35	0.04	31.76	36.09	1.22	0.85	3.39
6	7.44	178,7	0.70	0.08	26.38	35.02	2.03	0.71	5.80
7	7.46	167,7	0.80	0.09	24.07	35.37	2.12	0.65	5.99
8	7.45	150,8	1.20	0.13	18.60	35.16	2.46	0.50	6.98
9	7.51	0	1.30	0.14	0.00	36.02	0.00	0.00	0.00

Tabel 4.5. Data hasil perhitungan untuk posisi 4.

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P in (watt)	P out (watt)	TSR	CP (%)
1	6.84	187,8	0.00	0.00	30.96	27.21	0.00	0.91	0.00
2	6.75	183,6	0.10	0.01	30.91	26.20	0.34	0.92	1.30
3	6.85	179,1	0.15	0.02	30.27	27.32	0.50	0.88	1.83
4	6.88	167,7	0.20	0.02	29.37	27.69	0.65	0.85	2.33
5	6.95	159,8	0.25	0.03	28.64	28.54	0.79	0.82	2.76
6	6.91	153,1	0.30	0.03	27.75	28.11	0.92	0.80	3.26
7	6.79	146,4	0.80	0.09	20.72	26.61	1.82	0.61	6.85
8	6.88	128,4	0.90	0.10	19.56	27.75	1.94	0.57	6.98
9	6.90	0	1.20	0.13	0.00	27.93	0.00	0.00	0.00



Tabel 4.6. Data hasil perhitungan untuk sudu kincir tidak berlubang posisi 1

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P in (watt)	P out (watt)	TSR	CP (%)
1	9,04	378,5	0,00	0,00	39,62	66,2	0,00	0,85	0,00
2	9,05	374,3	0,20	0,02	39,18	60,0	0,86	0,87	1,44
3	9,11	370,2	0,40	0,04	38,75	61,2	1,70	0,85	2,78
4	9,06	367,5	0,50	0,06	38,47	60,2	2,12	0,85	3,51
5	9,05	357,7	0,60	0,07	37,44	60,0	2,47	0,83	4,12
6	9,06	326,2	1,00	0,11	34,14	60,2	3,76	0,75	6,23
7	9,04	286,4	1,50	0,17	29,98	59,8	4,95	0,66	8,27
8	8,95	245,2	1,80	0,20	25,66	58,1	5,08	0,57	8,75
9	8,96	0	2,20	0,24	0,00	58,3	0,00	0,00	0,00

Tabel 4.7. Data hasil perhitungan untuk sudu kincir tidak berlubang posisi 2

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P in (watt)	P out (watt)	TSR	CP (%)
1	8,68	355,2	0	0,00	37,18	53,0	0,00	0,86	0,00
2	8,58	342,4	0,2	0,02	35,84	51,2	0,79	0,84	1,54
3	8,54	324,3	0,40	0,04	33,94	50,4	1,49	0,79	2,96
4	8,61	313,7	0,60	0,07	32,83	51,7	2,17	0,76	4,19
5	8,43	302,4	0,80	0,09	31,65	48,5	2,79	0,75	5,74
6	8,58	292,7	1,00	0,11	30,64	51,2	3,37	0,71	6,59
7	8,61	285,1	1,20	0,13	29,84	51,7	3,94	0,69	7,62
8	8,21	242,5	1,40	0,15	25,38	44,8	3,91	0,62	8,72
9	8,04	0	1,80	0,20	0,00	42,1	0,00	0,00	0,00

Tabel 4.8. Data hasil perhitungan untuk sudu kincir tidak berlubang posisi 3

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P in (watt)	P out (watt)	TSR	CP (%)
1	7,17	276,3	0,00	0,00	28,92	29,9	0,00	0,81	0,00
2	7,15	264,3	0,20	0,02	27,66	29,6	0,61	0,77	2,06
3	7,21	246,4	0,30	0,03	25,79	30,4	0,85	0,72	2,80
4	7,15	226,1	0,40	0,04	23,67	29,6	1,04	0,66	3,52
5	7,16	204,7	0,80	0,09	21,43	29,7	1,89	0,60	6,34
6	7,22	195,8	1,00	0,11	20,49	30,5	2,25	0,57	7,39
7	7,15	187,4	1,20	0,13	19,61	29,6	2,59	0,55	8,74
8	7,19	162,5	1,40	0,15	17,01	30,1	2,62	0,47	8,70
9	7,16	0	1,65	0,18	0,00	29,7	0,00	0,00	0,00

Tabel 4.9. Data hasil perhitungan untuk sudu kincir tidak berlubang posisi 4

No.	v (m/s)	n (rpm)	F (N)	T (N.m)	$\omega$ (rad/sec)	P in (watt)	P out (watt)	TSR	CP (%)
1	6,73	248,4	0,00	0,00	26,00	24,7	0,00	0,77	0,00
2	6,55	227,8	0,20	0,02	23,84	22,8	0,52	0,73	2,30
3	6,65	204,6	0,30	0,03	21,41	23,8	0,71	0,64	2,97
4	6,55	191,4	0,40	0,04	20,03	22,8	0,88	0,61	3,87
5	6,54	183,6	0,60	0,07	19,22	22,7	1,27	0,59	5,60
6	6,51	174,4	0,80	0,09	18,25	22,3	1,61	0,56	7,19
7	6,51	163,6	1,00	0,11	17,12	22,3	1,88	0,53	8,43
8	6,48	154,2	1,10	0,12	16,14	22,0	1,95	0,50	8,86
9	6,42	0	1,40	0,13	0,00	21,4	0,00	0,00	0,00

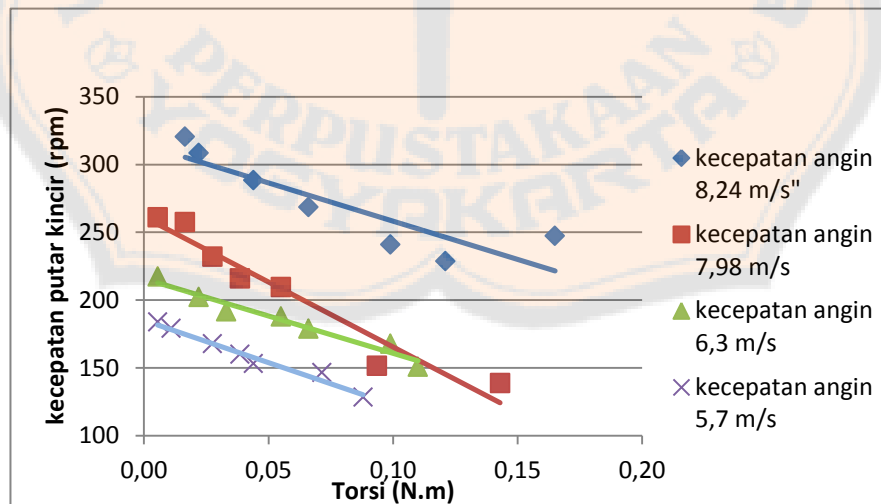
#### 4.4 Grafik Hasil Perhitungan sudu berlubang

Dari data yang telah diperoleh, kemudian diolah kembali ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan antara torsi (N.m) dengan kecepatan putar kincir (rpm), daya yang dihasilkan kincir ( $P_{out}$ ) dengan kecepatan putar kincir (rpm) dan koefisien daya kincir (CP) dengan Tip Speed Ratio (TSR). Grafik yang disajikan untuk setiap variasi percobaan dapat dilihat pada grafik berikut ini

#### 4.5 Grafik dari hasil perhitungan 3 sudu berlubang.

1. Grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 4.2. , maka dapat dibuat grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir yang disajikan pada Gambar 4.1.

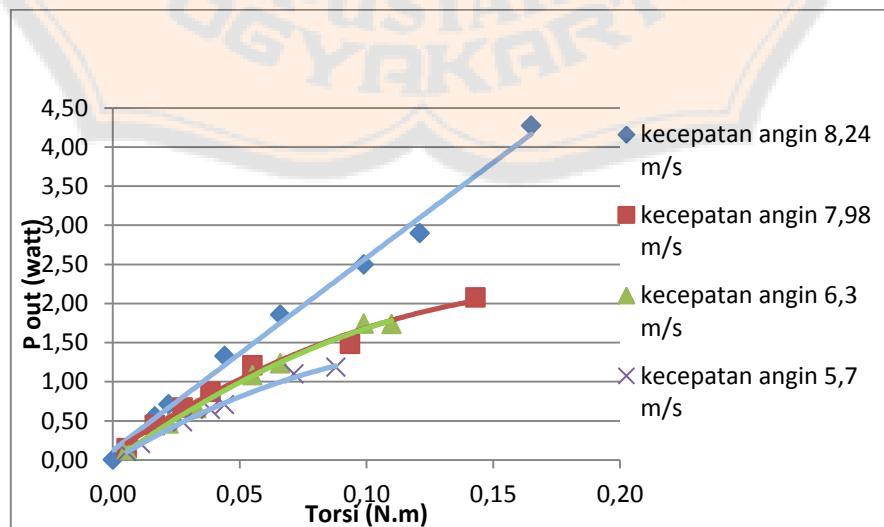


Gambar 4.1. Grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir 3 sudu berlubang.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1., bahwa setiap perubahan kecepatan angin akan mempengaruhi besarnya torsi dan kecepatan putar kincir yang terjadi. Pada kecepatan angin 8,82m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 382 rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,17 N.m. Pada kecepatan angin 8,28m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 275,20 rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,15N.m. Pada kecepatan angin 7,58m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 177,70 rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,14N.m. Pada kecepatan angin 7,45m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 186,90rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,13 N.m.

2. Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan kecepatan putar kincir.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 4.2 , maka dapat dibuat grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan kecepatan putar kincir yang dapat dilihat dalam Gambar 4.2.

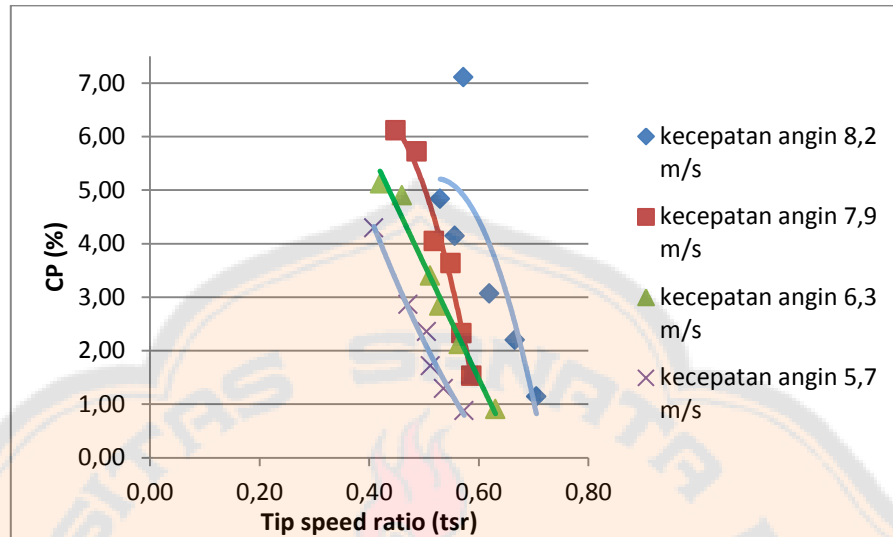


Gambar 4.2. Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan kecepatan putar kincir 3 sudu berlubang.

Kecepatan angin yang terjadi dapat mempengaruhi besarnya daya yang dihasilkan oleh kincir. Semakin besar kecepatan angin, maka kecepatan putar kincir dan daya yang dihasilkan akan semakin besar. Pada kecepatan angin 8,84m/s, putaran kincir yang dihasilkan 236,70 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 3,54 watt . Pada kecepatan angin 8,28m/s, putaran kincir yang dihasilkan 275,20 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 2,85watt . Pada kecepatan angin 7,58m/s, putaran kincir yang dihasilkan 177,70 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 2,46 watt . Pada kecepatan angin 7,45/s, putaran kincir yang dihasilkan 186,90 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 1,94 watt .

3. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio.

Dari data yang telah didapatkan pada Tabel 4.2, maka dapat dibuat grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



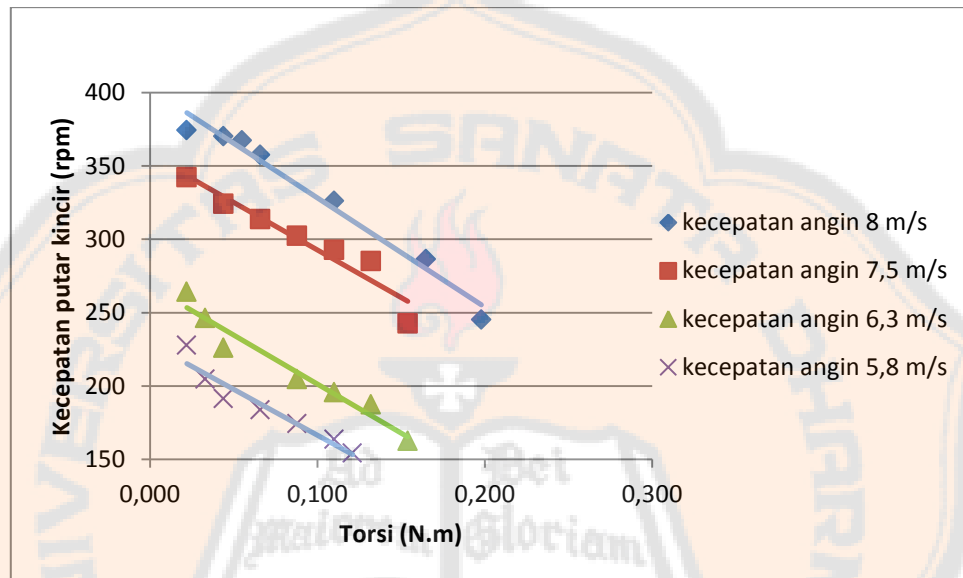
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio 3 sudu berlubang

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3., untuk kecepatan angin 8,82m/s, hubungan antara  $CP$  dengan  $TSR$  menunjukkan nilai maksimal  $CP$  7,60% pada  $TSR$  0,61. untuk kecepatan angin 8,28m/s, perbandingan  $CP$  dengan  $TSR$  menunjukkan nilai maksimal  $CP$  6,46% pada  $TSR$  0,72. untuk kecepatan angin 7,58m/s, perbandingan  $CP$  dengan  $TSR$  menunjukkan nilai maksimal  $CP$  6,98% pada  $TSR$  0,50. untuk kecepatan angin 7,45/s, perbandingan  $CP$  dengan  $TSR$  menunjukkan nilai maksimal  $CP$  6,98% pada  $TSR$  0,57. Semakin tinggi kecepatan angin semakin besar pula nilai  $CP$ .

#### 4.6 Grafik dari hasil perhitungan 3 sudu tidak berlubang.

- Grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 4.6. , maka dapat dibuat grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir yang disajikan pada Gambar 4.4.



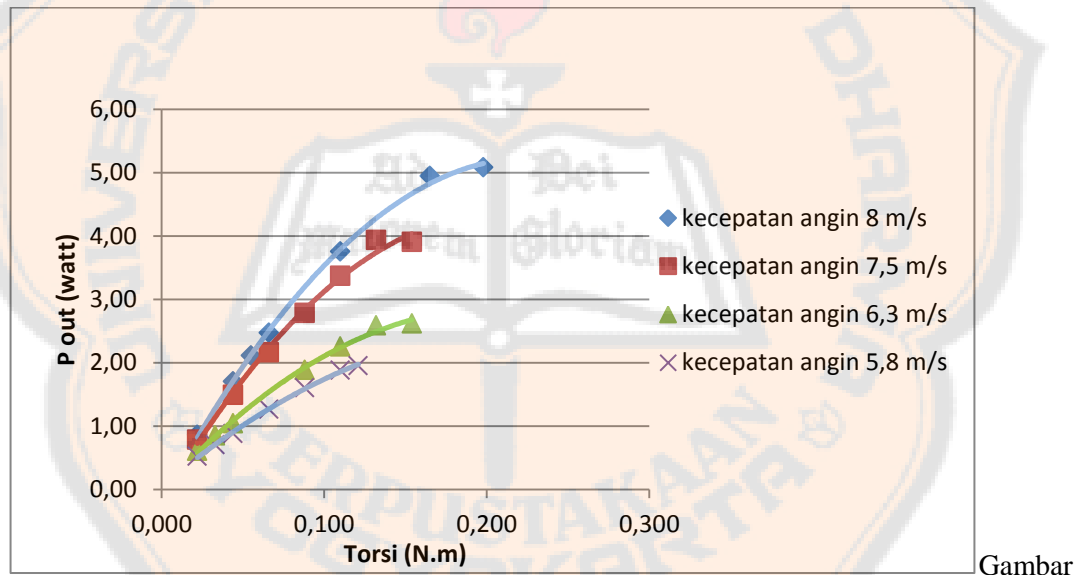
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir 3 sudu tidak berlubang.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4., bahwa setiap perubahan kecepatan angin akan mempengaruhi besarnya torsi dan kecepatan putar kincir yang terjadi. Pada kecepatan angin 9,02m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 378,5 rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,24 N.m. Pada kecepatan angin 8,47m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 355,20 rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,19 N.m. Pada kecepatan angin 7,17m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 276,3 rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,18 N.m.

Pada kecepatan angin 6,54m/s, maka kecepatan putar maksimal yang tercapai adalah 248,40rpm dan torsi maksimalnya adalah 0,13 N.m.

5. Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan kecepatan putar kincir.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 4.7 , maka dapat dibuat grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan kecepatan putar kincir yang dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



4.5. Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan kecepatan putar kincir 3 sudu tidak berlubang

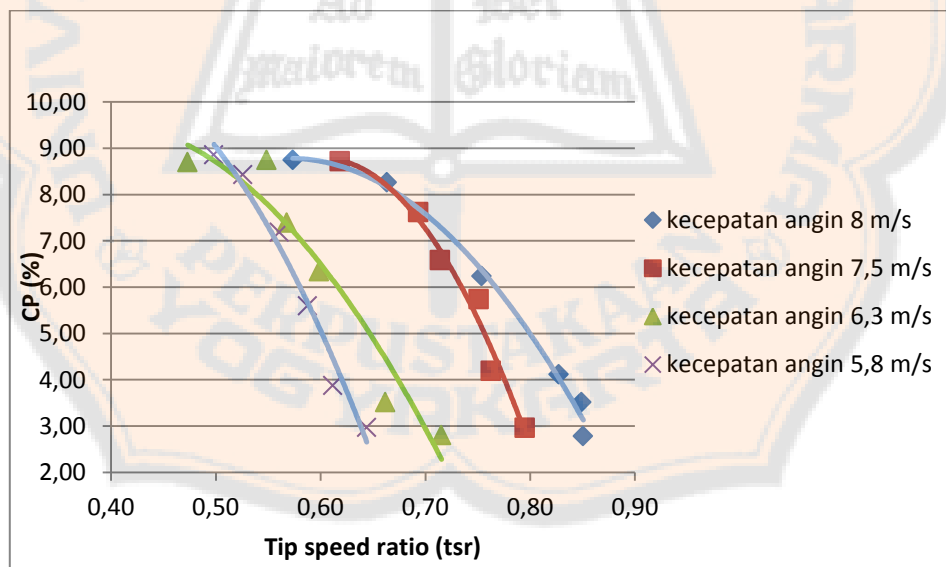
Kecepatan angin yang terjadi dapat mempengaruhi besarnya daya yang dihasilkan oleh kincir. Semakin besar kecepatan angin, maka kecepatan putar kincir dan daya yang dihasilkan akan semakin besar. Pada kecepatan angin 9,03m/s, putaran



kincir yang dihasilkan 378,5 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 5,08 watt . Pada kecepatan angin 8,47m/s, putaran kincir yang dihasilkan 355,2 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 3,91watt . Pada kecepatan angin 7,17m/s, putaran kincir yang dihasilkan 276,3 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 2,62 watt . Pada kecepatan angin 6,54m/s, putaran kincir yang dihasilkan 248,4 rpm dapat menghasilkan daya kincir ( $P_{out}$ ) sebesar 1,95 watt .

#### 4.6 Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio.

Dari data yang telah didapatkan pada Tabel 4.8, maka dapat dibuat grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.

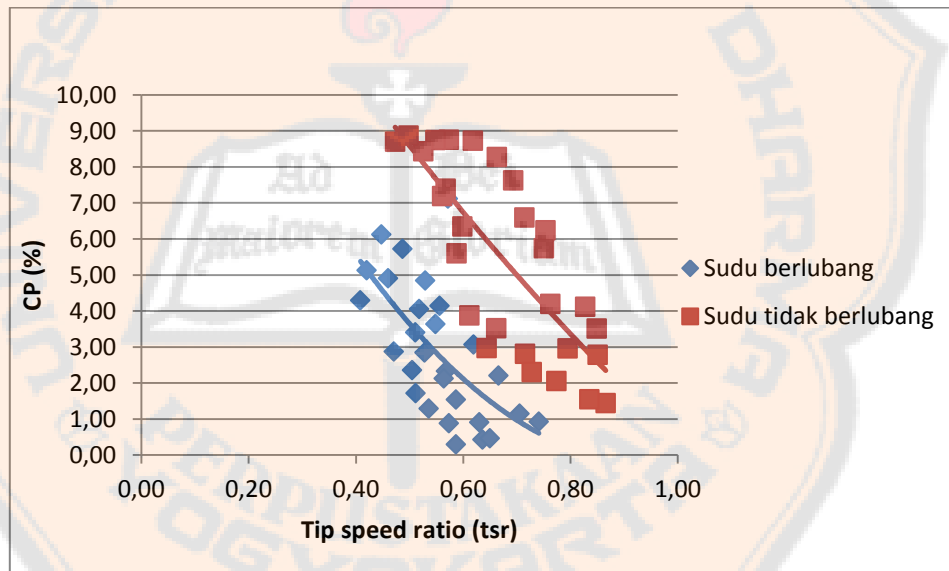


Gambar 4.6. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio 3 sudu tidak berlubang.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6., untuk kecepatan angin 9,03m/s, hubungan antara CP dengan TSR menunjukkan nilai maksimal CP 8,75% pada TSR

0,57. untuk kecepatan angin 8,47m/s, perbandingan CP dengan TSR menunjukkan nilai maksimal CP 8,72% pada TSR 0,61. untuk kecepatan angin 7,17m/s, perbandingan CP dengan TSR menunjukkan nilai maksimal CP 8,7% pada TSR 0,47. untuk kecepatan angin 6,54m/s, perbandingan CP dengan TSR menunjukkan nilai maksimal CP 8,8% pada TSR 0,49. Semakin tinggi kecepatan angin semakin besar pula nilai CP.

#### 4.7 Grafik hasil perbandingan antara sudu berlubang dan tidak berlubang.



Gambar 4.7. Grafik perbandingan antara sudu berlubang dan tidak berlubang.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7., untuk kecepatan angin 8,24 m/s, hubungan antara CP dengan TSR menunjukkan nilai maksimal CP 8,75% pada TSR 0,57 untuk sudu yang tidak berlubang. dan untuk kecepatan angin 8 m/s, hubungan antara CP dengan TSR menunjukkan nilai maksimal CP 7,60% pada TSR 0,61 untuk sudu yang berlubang.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari pengujian model kincir angin *Magwind* yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat model kincir angin *Magwind* dengan variasi bentuk sudu.
2. Koefisien daya maksimal yang dihasilkan untuk kincir angin *Magwind* sudu berlubang adalah 7,60 % dengan nilai *TSR* adalah 0,50 pada kecepatan angin 8,24m/s dan untuk sudu yang tidak berlubang adalah 8,75 % dengan nilai *TSR* adalah 0,62 pada kecepatan angin 8,9m/s.

#### 5.2 Saran

Adapun saran untuk pihak yang akan mengembangkan penelitian pada bidang ini adalah :

1. Untuk mendapatkan daya maksimal pada kincir dibutuhkan kecepatan angin yang besar dengan keadaan yang stabil.
2. Sebaiknya dilakukan pengambilan data lebih banyak, agar mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Pada saat percobaan dimulai alangkah baiknya apabila alat – alat yang digunakan berfungsi sebagaimana mestinya.

4. Untuk lebih meningkatkan kinerja kincir angin perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan memvariasikan jumlah sudu dan kelengkungan sudu.
5. Penambahan alat bantu untuk pengukuran kecepatan putaran kincir didalam terowongan angin.
6. Poros yang digunakan sebaiknya terbuat dari bahan yang ringan dan tidak mudah oleng pada saat kincir berputar.



DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, M. S. 2008. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Mobil Listrik*, Tugas Akhir, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institute Teknologi Sepuluh November Surabaya, Surabaya.
- Betz, A. 1966. *Introduction to the Theory of Flow Machines*. (D. G. Randall, Trans.) Oxford: Pergamon Press.
- Burton, T., Sharpe, D. 2001. *Wind Energi Handbook*. England.
- Daryanto, T. 2012, *Energi Terbarukan*, <http://www.Kompas.com> Diakses : Tanggal 22 April 2012.
- Daryanto, Y. 2007, *Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2005. Pengelolaan Energi Nasional.
- Johnson, G.L. 2006. *Wind Energy System*. Manhattan. Diakses : Tanggal 12 Agustus 2011.
- Mulyani, 2008. *Kajian Potensi Angin Indonesia*. Central Library Institute Technology Bandung.
- Sastrowijoyo, F. 2008. *Permasalahan Yang Sering Terjadi Pada Sistem Wind Turbine di Indonesia*. Alamat web: <http://konversi.wordpress.com>. Diakses : Tanggal 22 Februari 2012.
- Sutrisna, F. K. 2011. *Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. Alamat web : <http://indone5ia.wordpress.com>. Diakses : Tanggal 10 April 2012.
- Okbrianto, C. 2009. Yogyakarta. *Unjuk Kerja Kincir Angin Savonius Dua Tingkat*, Tugas Akhir, Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta..